研究論文

先端レーザー等を用いた加工技術の研究（第３報）

田宮　宏一*　山田　敏浩*　小林　　豊*　斉藤　雄治*

Cuttinng and Pierceing using Single-mode Fiber Lasers

TAMIYA Kouichi* , YAMADA Tosihiro* , KOBAYASI Yutaka* and SAITOU Yuuji*

抄　　録

ファイバーレーザーはビーム品質が高く集光径を小さく出せることから微細加工に適している。本研究では，マグネシウム合金等の金属材料に対してファイバーレーザーによる微細加工の可能性を検討してきた。前報では，出力 2W のパルス波および出力 100W の連続波ファイバーレーザー発振器を用いた実験結果を報告した。本報では，出力 50Wの連続波のファイバーレーザー発振器について，ビーム品質を調べるとともに，微細切断と微細穴あけの加工実験を行ったので，その結果を報告する。

1.　緒　　言

軽量化，省資源化，高機能化等のため，あらゆる機器や部品に対して小型化や高機能化が望まれている。このため，多くの工業製品に対して微細加工が適応されており，微細加工に関する研究も盛んに行われている。

ファイバーレーザーはビーム品質が高く集光径を小さくできるため，微細加工に適している。このため当センターでは，平成 16 年度よりファイバーレーザーを用いた微細加工の実験を行ってきた。第 1 報では出力 10W パルスレーザーと出力 100W の連続波レーザーを用いて炭素鋼やステンレス鋼の薄板の切断加工と穴あけ加工について実験を行い，有限要素法を用いた穴あけ加工の熱伝導解析の結果を報告した [1)]。第 2 報では，出力 2W のパルス波レーザーと出力 100W の連続波レーザーを用いて微細切断および微細溶接についての加工実験を行った。その結果，板厚 10μm のステンレス鋼板の重ね合わせ溶接などの微細加工が可能であったので報告した [2)]。

本報では，50W 連続波レーザー（以降 50W-CW と表記する）を用いて，マグネシウム合金 AZ31 の薄板について微細切断と穴あけの実験を行ったので、その結果を報告する。

2.　実験装置

2.1　ファイバーレーザー発振器

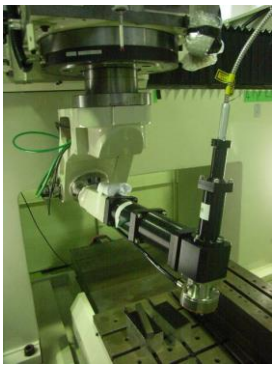
実験には，SPI Laser 社製ファイバーレーザー発振器 SP-50-B-1090-A-30-UAC を用いた。表 1 にファイバーレーザー発振器の主な仕様を示す。また，図 1（a）にファイバーレーザーの制御部を，図 1（b）に光学系の取付状態を示す。

表１　ファイバーレーザーの仕様

仕様	規格定格
発振形態	連続発振および変調発振
最大変調周波数(kHz)	10 以上
レーザーの中心波長(nm)	1090±5
発信スペクトル帯域(nm)	＜2
ビームの品質(M^2)	＜1.1
レーザーの最大出力(W)	50
コリメータ径(mm)	φ5±0.5

＊　中越技術支援センター

(a) レーザー制御部



(b) 光学系

図 1　実験装置

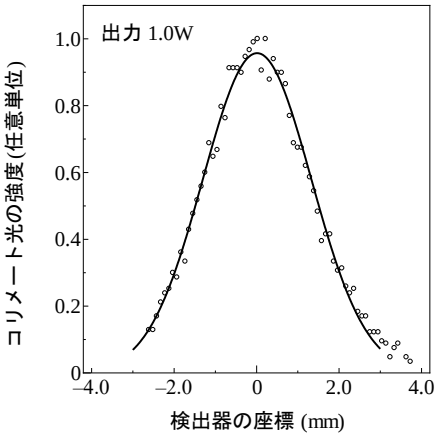


図 2　コリメート光の強度分布

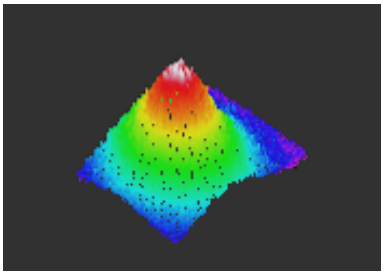


図 3　コリメート光のビームプロファイル

2.2　光学系

本研究では前報 [2] で使用した光学系を引き続き使用した。本研究では集光性を高めるため，コリメート光をいったん拡大し，再び集光する光学系を用いた。集光径 d は回折理論より次式から求まる。

$$d = \frac{4}{\pi}\frac{\lambda f}{D}M^2 \qquad (1)$$

ここで，λ はレーザーの波長（μm），f は集光レンズの焦点距離，D は集光前の光径（mm），M^2 はビーム品質を表す係数である。(1) 式で求めた計算上の集光径は 10μm となる。実験は，光学系を図 1（b）のように 5 軸加工機の加工ヘッドに取り付けて行った。また，加工材料からの反射光（戻り光）による発振器の破損を防ぐため，レーザー光軸は試料の表面放線に対して 10 度傾けて実験を行った。

2.3　コリメート光の出力と強度分布

2.1 節に述べた発振器について，発振器の出力設定値に対する実際のコリメート光の出力をオフィール社製のレーザーパワーメーターF150A を用いて測定した。測定した強度分布を図 2 に示す。また，コリメート光のビームプロファイルを，オフィール社製のビームプロファイラーFX50 を用いて測定した。図 3 に測定したビームプロファイルを示す。ふたつの測定結果からビームモードは集光性に優れるガウスモードとなっていることがわかる。

2.4　焦点位置

集光レンズで絞られたレーザーの集光径が最小となる位置が焦点距離である。焦点位置は切断や溶接特性に大きく影響するため，焦点位置の決定はきわめて重要である。本研究では，光学系の加工材料表面から高さをかえて一定速度でレーザー光を照射した後，断面を研磨・腐食して溶け込み部を金属顕微鏡で観察し，溶け込み深さが最大となる位置を焦点位置とする方法を用いた [3]。

3.　加工実験

3.1　レーザー光の吸収率

マグネシウム合金はレーザー光に対する反射が大きいため，レーザー加工が困難な材料である。本実験で用いる試料について，㈱ニレコ製近赤外分光光度計 NIRS6500 を用いてレーザー光の吸収率を調べた。その測定結果を図 4 に示

す。板厚 50μm の AZ31 は，圧延工程で形成された酸化層が大きく，ファイバーレーザーの中心波長 1090nm の吸収率が 80%であった。一方，表面が酸化していない板厚 100μm の AZ31 の吸収率は 12%であった。レーザーによる加工性を向上させるため，吸収剤としてカーボンスプレーを塗布した板厚 100μm の AZ31 では吸収率は 85%に改善された。吸収剤については，カーボンスプレーのほかに染料等についても検討したが，染料は加工面への密着性が低く，吸収剤としては適さないことがわかった。これらの結果より，検討した吸収剤の中で最も 1090nm の光の吸収率が高く，比較的，材料への密着性のよいカーボンスプレーが吸収改善剤として有効であることがわかった。

3.2　実験材料

本実験では，マグネシウム合金 AZ31 の板厚 100μm，板厚 50μm，およびカーボンスプレーを加工面に塗布した板厚 100μm の 3 種類を用いることとした。なお，使用した AZ31 の元素分析結果を表 2 に示す。カーボンスプレーは（株）海保技研製　レーザー用ドロス防止剤レーザー CBX を使用した。

3.3　マグネシウム合金板の切断

微細な切断幅での加工を目的として，加工実験を行った。加工材料を移動させながらレーザー光を照射し切断（溝加工）を行った。その後，工具顕微鏡により切断幅を測定した。溝幅の測定においては加工面に焦点を合わせエッヂとエッヂの間隔を測定し切断幅とした。切断実験に使用したジグを図 5 に示す。ジグの隙間は 1mm とした。加工条件は，加工速度を 10 mm/min から 1000mm/min まで変化させ，アシストガスは空気（酸素 20.6%，残部が窒素）を用い，ガス圧を 100kPa から 300k Pa まで変化させた。

表 2　使用した AZ31 の元素分析結果

	Ａｌ	Ｚｎ	Ｍｎ	Ｍｇ
AZ31	2.40%	0.79%	0.35%	残部

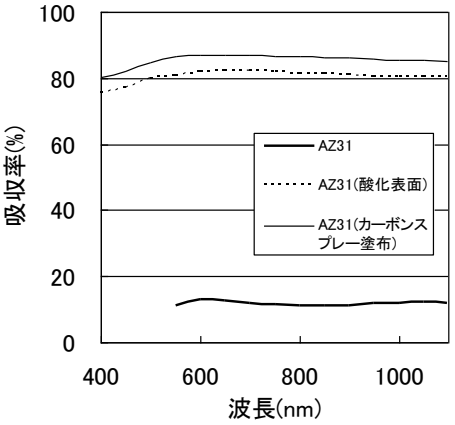


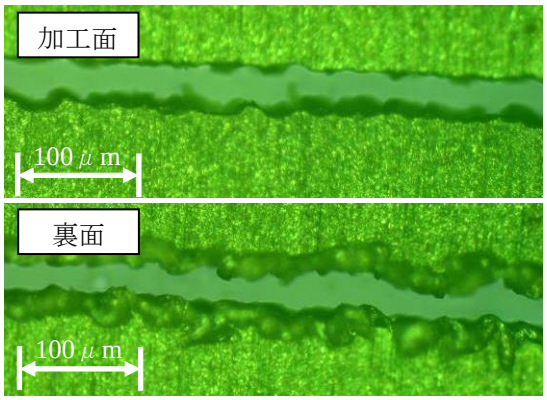
図 4　AZ31 の吸収率

ノズルはφ1mm の径を用いた。レーザー光の焦点は，加工面に合わせた。

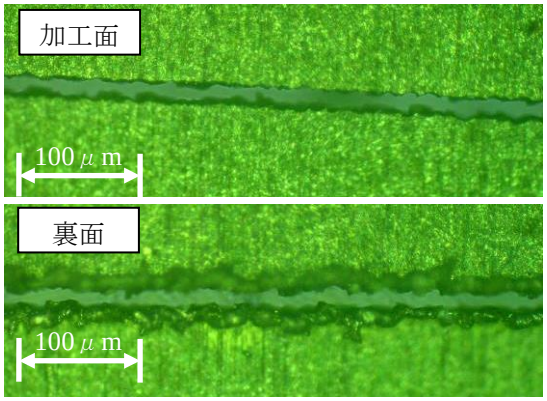
図 6 に板厚 50μm の AZ31 についての切断部の写真を，図 7 に切断幅の測定結果を示す。アシストガスのガス圧 200kPa の場合に 30μm から 40μm の幅で切断できた。100kPa では，切断幅が大きく，ドロスの付着が多かった。300kPa についても切断幅が大きくなった。300kPa の場合は，ガス圧により，ジグの隙間にそって板に変形が生じ，加工面が焦点からずれて切断幅が広くなったものと考える。送り速度を変えても切断幅の変化は少なかったが，送り速度が速くなるに従って，ドロスの付着が増えた。実際の加工では，できるだけ高速で加工することが求められるため，ドロスの除去能力を上げるノズル形状の開発が今後の課題である。

板厚 100μm の AZ31 の加工については，カーボンスプレーを塗布しない状態ではレーザー

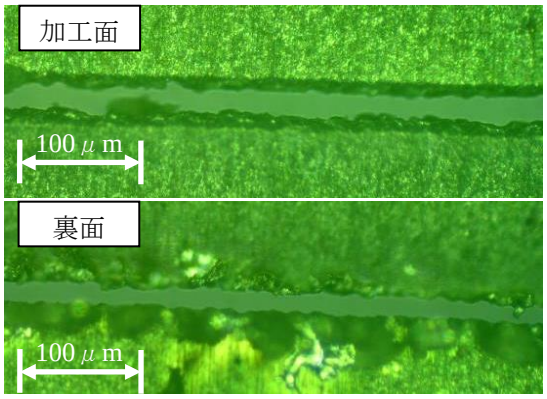
図 5　切断実験に使用したジグ



a）ガス圧 100kPa，送り 50mm／min



b）ガス圧 200kPa，送り 50mm／min



c）ガス圧 300kPa，送り 50mm／min

図 6　AZ31　板厚 50μm の切断状況

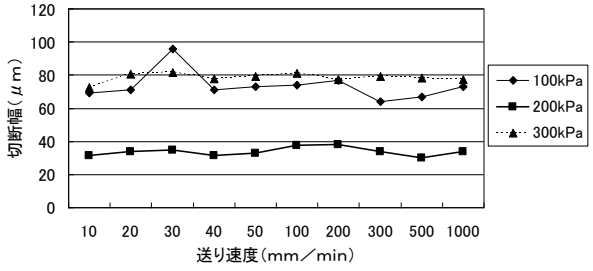
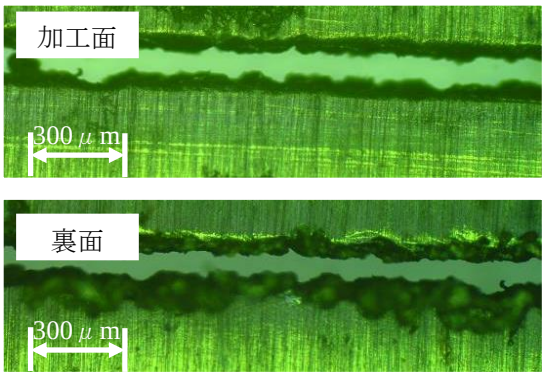


図 7　AZ31　板厚 50μm　切断幅



ガス圧 300kPa，送り 50mm／min

図 8　AZ31　板厚 100μm の切断状況

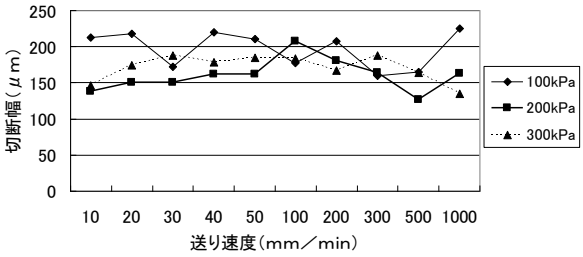


図 9　AZ31　板厚 100μm 切断幅

光の反射が大きく，50W-CW では加工できなかった。カーボンスプレーを塗布した後，切断実験を行った切断部の写真を図 8 に，切断幅の測定結果を図 9 に示す。切断幅は 150μm から 200μm で，ドロスの付着が多かった。板厚が 50μm から 100μm に増えたことで，熱拡散により溶融範囲が広くなったものと考える。

3.4　マグネシウム合金板の穴あけ（ピアシング）

切断と同様に，吸収剤を塗布しない AZ31 は，レーザー光の反射が大きく，穴あけ加工はできなかった。このため，板厚 50μm と，板厚 100μm にカーボンスプレーを塗布したものについて実験を行った。実験ジグは切断実験に用いたものと同じものを使用した。加工条件は，アシストガスは空気，ガス圧を 100kPa，200kPa，300kPa と変化させ，レーザー光の焦点は加工面とした。穴径の測定結果を図 10，図 11 に，加工部の写真を図 12，図 13 に示す。板厚 50μm で 100μm 程度，板厚 100μm で 200μm 程度の穴

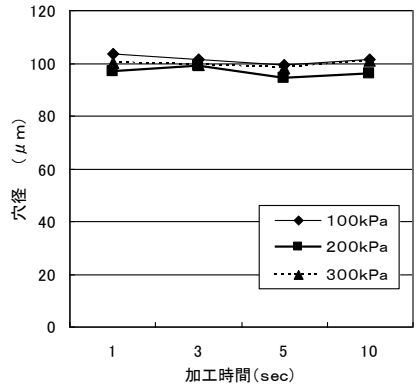


図 10　AZ31　板厚 50μm　穴径

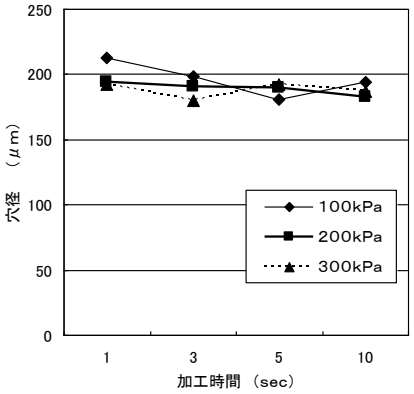
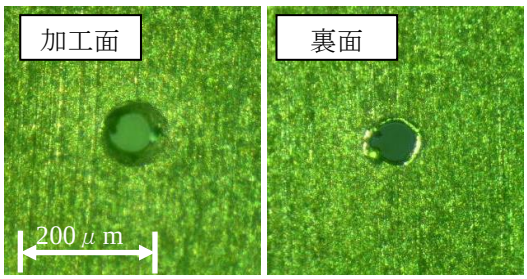
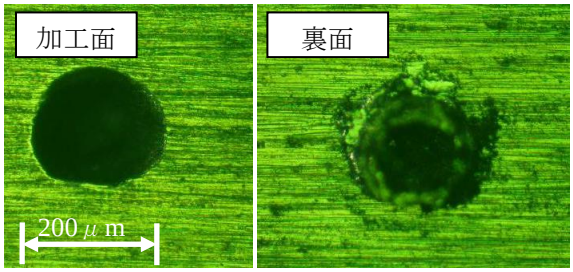


図 11　AZ31　板厚 100μm　穴径



ガス圧 200kPa，加工時間 5 秒

図 12　AZ31　板厚 50μm の穴あけ状況



ガス圧 200kPa，加工時間 5 秒

図 13　AZ31　板厚 100μm の穴あけ状況

径となった。また，加工条件による穴径の差は少なかった。本研究で用いたレーザーは計算上 10μm の集光径であるが，それと比べて，大きな穴径となった。マグネシウム合金は，熱拡散率が高い材料であるため，穴が貫通するまでの間に，溶融範囲が広くなったものと考える。

金属材料の穴あけでは，CW と比較してパルス発振のほうが，加工時間は増えるものの，穴径が小さくなる例も示されている [4]。マグネシウム合金の穴あけについても，尖頭値の高いパルス発振ファイバーレーザーを用いることで，より微細な穴あけが可能になると考える。

4. 結　言

(1) AZ31 の波長 1090nm の光についての吸収率は 10 数%であった。吸収剤を塗布するなど吸収率を上げる処理をすることで 50W-CW のファイバーレーザーで板厚 100μm までの切断・穴あけ加工ができた。

(2) 50W-CW のファイバーレーザーを用いた切断加工の場合，AZ31 板厚 50μm で 30μm から 40μm の幅で切断ができた。また，送り速度を上げても加工面の切断幅は変わらないが，ドロスの付着が多くなることがわかった。

(3) 50W-CW のファイバーレーザーによる穴あけ加工の場合，AZ31 板厚 50μm で 100μm 程度，AZ31 板厚 100μm で 200μm 程度の穴径となり，微細な穴あけ加工は困難であった。

参考文献

1) 長谷川他，“先端レーザ等を用いた加工技術の研究”，新潟県工業技術研究報告書 NO.34，p128.

2) 斎藤他，“先端レーザ等を用いた加工技術の研究（第 2 報）”，新潟県工業技術研究報告書 NO.35，p20.

3) 金岡　優，“レーザ加工”，日刊工業新聞社，p154.

4) 倉田　豊，“レーザープロセシング応用便覧”，（有）エヌジーティー，p153.